

УДК 621.314

Дунаев Михаил Павлович,
 д.т.н., профессор, профессор кафедры «Электропривод и электрический транспорт»,
 ФГБОУ ВО «Иркутский национальный исследовательский технический университет»,
 e-mail: mdunaev10@mail.ru

Буланов Данил Максимович,
 обучающийся группы КТЭМ-20-1,
 ФГБОУ ВО «Иркутский национальный исследовательский технический университет»,
 e-mail: leorid1101@yandex.ru

ТЕХНОЛОГИИ КОНСТРУИРОВАНИЯ ЭКСПЕРТНЫХ СИСТЕМ ДЛЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ

Dunaev M.P., Bulanov D.M.

TECHNOLOGIES OF EXPERT SYSTEMS CONSTRUCTION FOR ELECTRIC POWER

Аннотация. Рассмотрены технологии конструирования диагностических экспертных систем для электроэнергетики. Описана стратегия структурирования базы знаний диагностической экспертной системы.

Ключевые слова: экспертная система, база знаний, алгоритм диагностирования.

Abstract. The technologies of construction diagnostic expert systems is considered. The strategy of the knowledge base structuring by diagnostic expert system is described.

Keywords: expert system, knowledge base, diagnostic algorithm.

На сегодняшний момент существует две тенденции в техническом диагностировании.

Первая тенденция заключается в использовании методов традиционной технической диагностики, базирующихся на математических моделях объектов и особых алгоритмах диагностирования. Эта тенденция раскрыта в [1-7].

Вторая тенденция основана на применении методов искусственного интеллекта и использовании диагностических экспертных систем (ЭС), аккумулирующих знания специалистов (экспертов). Эта тенденция описана в [8, 9].

Каждая из перечисленных тенденций располагает положительными и отрицательными аспектами. Традиционная техническая диагностика требует всестороннего анализа объекта диагностирования, в процессе которого формируется его математическое описание (математическая модель). В результате, основываясь на модели объекта диагностирования и применяя различные поисковые алгоритмы, получается надежно найти и локализовать дефект при минимизированном числе шагов поиска или с минимумом затрат на поиск неисправности. К сожалению, глубокий анализ любого конкретного объекта диагностирования приводит к существенным затратам времени и средств; применение ме-

тодов традиционной технической диагностика весьма сложно для неспециалистов; не стоит забывать и неизбежные допущения, которые делаются при разработке математических моделей, которые могут изрядно отдалить диагностическую модель от реально существующего объекта диагностирования.

Стоит отметить, что использование методов искусственного интеллекта, а именно теории и практики экспертных систем, приводит к возможности применения эмпирических знаний специалистов (экспертов) и эвристических методов, что существенно уменьшает время поиска неисправностей в объекте диагностирования. Применение уже разработанных экспертных систем не вызывает затруднений даже у работников, знакомых с методами искусственного интеллекта, а область доступных экспертной системе диагностических задач достаточно широка и не ограничивается конкретным объектом диагностирования, охватывая как правило, широкий круг технических объектов. К сожалению, методика разработки диагностических экспертных систем достаточно сложна, а имеющиеся на данный момент диагностические ЭС, обычно не имеют достаточной глубины знаний и не позволяют гарантированно находить существующие дефекты в объекте диагностирования.

Исходя из вышеизложенного, можно предложить новый перспективный диагностический метод [10], сочетающий в себе симбиоз двух разных подходов, а именно сочетание алгоритмов традиционной технической диагностики и методов экспертных систем. Разработанный на данной основе метод диагностирования приводит к сохранению таких достоинств двух вышеупомянутых подходов, как наличие математической модели объекта диагностирования, минимум шагов поиска дефектов, повсеместное использование практических знаний специалистов, допустимость диагностирования широкого класса реальных объектов. При этом новый метод существенно уменьшает трудоемкость разработки математической модели объекта диагностирования и допускает эксплуатацию разработанной диагностической ЭС широкому кругу неспециалистов.

Обозначим основные шаги предлагаемого диагностического метода.

Синтез диагностического алгоритма.

На означенном шаге объект диагностирования должен быть представлен в виде функциональной модели и определена наилучшая последовательность проведения элементарных проверок, т.е. разработан алгоритм диагностирования с учетом имеющейся об объекте диагностирования информации. Данный шаг может быть разбит на следующие элементарные действия:

1) На основе функциональной схемы объекта диагностирования разрабатывается математическая модель (ММ) с учетом допущений, перечисленных в [1], и условий реализуемости метода, перечисленных выше, для которой являются правильными представленные ниже выражения:

- ММ можно представить в виде конечного частично упорядоченного множества A_M , состоящего из элементов a_i ($i=1,2,...,M$), где M – это показатель мощности множества, $M < \infty$;

- для любого элемента a_i модели A_M имеется конечное множество Z_V входных сигналов z_{iV} , где $V \geq 1$, и множество Z_L выходных сигналов z_{iL} с показателем мощности $L=1$:

$$\forall a_i \in A_M \Rightarrow (z_{iV} \in Z_V) \wedge (z_{iL} \in Z_L);$$

- для любого элемента a_i модели A_M известны зависимости между входными z_{iV} и выходным сигналом z_{iL} , а также множества их допустимых значений Z_{VD} и Z_{LD} :

$$\forall a_i \in A_M \Rightarrow (z_{iV} \rightarrow z_{iL});$$

- внешние входные сигналы x_i элемента a_i всегда относятся к множеству допустимых значений X_D : $\forall x_i \in X_D$;

- если выходной сигнал z_{jL} элемента a_f является входным сигналом z_{gV} для элемента y_g , то множества допустимых значений этих сигналов Z_{FD} и Z_{GD} совпадают:

$$z_{jL} = z_{gV} \Rightarrow Z_{FD} \equiv Z_{GD};$$

- если входной сигнал z_{iV} элемента a_i находится за пределами допустимых значений Z_{VD} , то на выходе этого элемента появляется недопустимый сигнал:

$$z_{iV} \notin Z_{VD} \Rightarrow z_{iL} \notin Z_{LD};$$

- элемент a_i принадлежит к множеству неисправных элементов A_W , если при допустимых входных сигналах z_{iV} на выходе элемента появляется недопустимый сигнал z_{iL} :

$$(z_{iV} \in Z_{VD}) \wedge (z_{iL} \notin Z_{LD}) \Rightarrow a_i \in A_W;$$

- модель объекта диагностирования A_M считается исправной, если все ее элементы a_i принадлежат к множеству исправных элементов A_D :

$$a_i \in A_D.$$

2) Математическая модель объекта диагностирования преобразуется в логическую модель в форме ориентированного графа, т.к. для решения задачи диагностирования объекта обычно достаточно сделать заключение по результатам оценки входных и выходных сигналов типа «в норме – не в норме» (в пределах паспортных значений или нет).

3) Логическая модель объекта диагностирования представляется в виде системы логических уравнений следующего вида:

$$\left. \begin{aligned} Z_1 &= e_1 \wedge X_1 \wedge \dots \wedge X_q, \\ Z_2 &= e_2 \wedge Z_1, \\ &\dots \dots \dots \\ Z_N &= e_N \wedge Z_{N-1}. \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

4) Производится ранжирование графа логической модели объекта диагностирования.

5) По ранжированной логической модели объекта диагностирования вершины графа разбиваются на ранги, длины и кусты и определяется минимальная совокупность элементарных проверок по методике, изложенной в [1].

6) Проводится процедура построения графов алгоритмов диагностирования

объекта диагностирования, использующих бинарные единичные выборы и соответствующих основным диагностическим методам, рассмотренным в [10].

7) Выбирается такой алгоритм диагностирования объекта диагностирования, который приводит к минимальным средним затратам, определенным по выражению:

$$C(Z_0, E_T) = \sum_{i=1}^N [p(e_i) \sum_{k=1}^K c(Z_k)], \quad (2)$$

где Z_0 – первая элементарная проверка алгоритма диагностирования,

$$\sum_{k=1}^K c(Z_k) - \text{сумма цен элементарных}$$

проверок алгоритма диагностирования от Z_0 до Z_k .

Общее структурирование базы знаний.

На данном шаге необходимо сформировать базу метаправил экспертной системы с учетом выбранного алгоритма диагностирования. Этот процесс можно разбить на следующие элементарные действия:

1) Оформляется полный перечень диагностируемых экспертной системой дефектов объекта диагностирования $D(d_1, d_2, \dots, d_b; D_1, D_2, \dots, D_c)$.

2) Полный перечень диагностируемых дефектов разделяется надвое: неокончательные $D_B(d_1, d_2, \dots, d_b)$ и финальные $D_C(D_1, D_2, \dots, D_c)$ диагнозы. Под финальным диагнозом D_C подразумевается нахождение актуального дефекта при заданной глубине диагностирования объекта диагностирования до конкретного функционального блока. Под неокончательным диагнозом D_B подразумевается промежуточная степень локализации дефекта в определенной части объекта диагностирова-

ния, включающей несколько функциональных блоков.

Конструирование базы знаний. На этом шаге база знаний экспертной системы наполняется теоретическими и практически знаниями об объекте диагностирования и происходит окончательное структурирование базы знаний экспертной системы. Этот процесс реализуется путем выполнения следующих элементарных действий:

1) С помощью системы логических уравнений вида (1) формируются первичные правила для базы знаний экспертной системы и оформляются в виде продукций (правил) типа «ЕСЛИ A , ТО B ». Эти правила описывают функциональную модель объекта диагностирования.

2) Практические знания специалистов по наладке (экспертов) также оформляются в виде правил «ЕСЛИ A , ТО B ».

3) База знаний формируется в виде совокупности первичных правил и правил, отражающих практические знания экспертов.

4) Все правила базы знаний формализуются в виде выражений:

$$\bigvee_{i=1}^n C_i \Rightarrow D_j; \quad \bigwedge_{i=1}^m C_i \Rightarrow D_j,$$

$$\text{где } \bigvee_{i=1}^n C_i - \text{ дизъюнкт и } \bigwedge_{i=1}^m C_i - \text{ конъюнкт}$$

относительно C_i ; C_i - условия выполнения действия D_j .

Совокупность логических выражений вида (3) представляет собой компактную форму записи базы знаний об объекте диагностирования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Осипов О.И., Усынин Ю.С. Техническая диагностика автоматизированных электроприводов. М.: Энергоатомиздат, 1991. 160 с.
2. Введение в техническую диагностику / Г.Ф. Верзаков [и др.]; отв.ред. К.Б. Карандеев. М.: Энергия, 1968. 224 с.
3. Мозгалеvский А.В. Диагностирование электронных систем / А.В. Мозгалеvский, В.П. Калявин, Г.Г. Костанди. Л.: Судостроение, 1984. 224 с.
4. Мозгалеvский А.В. Системы диагностирования судового оборудования / А.В.

- Мозгалеvский, В.П. Калявин. Л.: Судостроение, 1987. 224 с.
5. Пархоменко П.П. Основы технической диагностики: (Оптимизация алгоритмов диагностирования, аппаратурные средства) / П.П. Пархоменко, Е.С. Согомонян. М.: Энергия, 1981. 320 с.
6. Техническая диагностика: сб. науч. тр./ I всесоюзное совещание по технической диагностике; под ред. П.П. Пархоменко. М.: НАУКА, 1972. 368 с.
7. Фандеев В.П. Модели, методы и алгоритмы оптимизации диагностирования